

**①⁹ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENTAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 44 12 370 A 1**

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**B 24 B 13/00**  
 G 02 B 3/04

(21) Aktenzeichen: P 44 12 370.1  
 (22) Anmeldetag: 12. 4. 94  
 (43) Offenlegungstag: 19. 10. 95

**DE 44 12 370 A1**

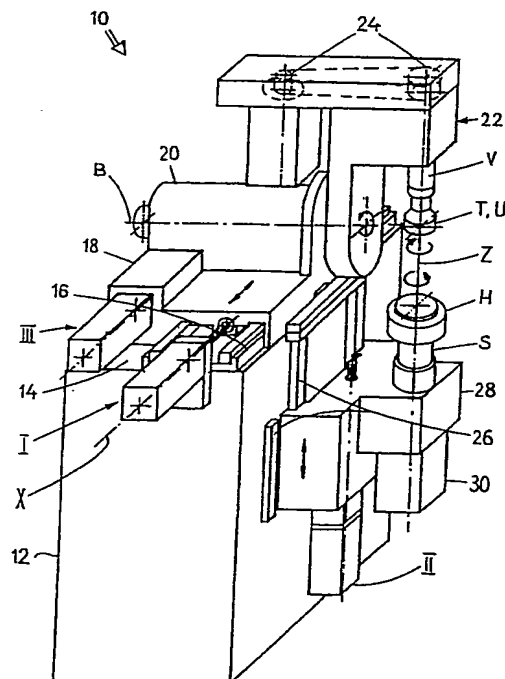
71 Anmelder:  
Schneider GmbH + Co. KG, 35239 Steffenberg, DE

74 Vertreter:  
Olbricht, K., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 35096 Weimar

**72** Erfinder:  
Schneider, Gunter, Dipl.-Ing.-Masch., 35239  
Steffenberg, DE; Buchenauer, Helwig,  
Dipl.-Ing.-Masch., 35719 Angelburg, DE

**54) Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen asphärischer Linsenoberflächen**

Bei einem Verfahren zum Herstellen von asphärischen Oberflächen an Linsenrohlingen (L) namentlich aus Glas wird eine CNC-Werkzeugmaschine mit einem rotierend zustellbaren Topfwerkzeug (T) zum Schleifen und/oder Polieren eines Werkstücks (W) in einer Halterung (H) benutzt. Das Topfwerkzeug (T) wird entlang einer über eine Steuereinheit (E) vorgegebenen Bearbeitungskontur (K) derart geführt, daß zwischen der Längsachse (A) des Topfwerkzeugs (T) und der Tangente (F) in seinem Berührungspunkt (P) am Werkstück (W) ein wählbarer Vorhaltewinkel ( $\beta$ ) von z. B.  $0^\circ$  konstant eingehalten wird. Zumindest ein Vorschubantrieb (z. B. I) wird in bezug auf einen anderen (z. B. II) um eine Querachse (B) verschwenkt, vorzugsweise unter Interpolationssteuerung eines weiteren Antriebs (III), um das Topfwerkzeug (T) vom Rand des Werkstücks (W) zu seiner Mitte und darüber hinweg entlang einer Meridianlinie zu führen. Ein zusätzlicher Vorschubantrieb (IV) ermöglicht die Steuerung der Werkstückhalterung (H) um eine mittige Achse (C). Jeder Achse (X, Z, B, C) ist ein Meßsystem (M1, M2, M3, M4) zugeordnet, deren Meßwerte sowie Abtastwerte der bearbeiteten Oberfläche in die Steuereinheit (E) einspeisbar und in einem Mikroprozessor-Rechner (R) durch Vergleich des Oberflächen-Istverlaufs mit der Bearbeitungskontur (K) zur Korrektur der Werkzeugbahn auswertbar sind. Die Oberfläche des Linsenrohlings (L) ist auf eine sphärische Gestalt vorbearbeitbar, die der vorgegebenen Bearbeitungskontur (K) ...



**BEST AVAILABLE COPY**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

BUNDESDRUCKEREI : 22 25 522-242/25

**DE 44 12 370 A 1**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen asphärischer Linsenoberflächen gemäß den Oberbegriffen von Anspruch 1 bzw. Anspruch 9.

Zunächst wird auf die Herstellung optischer Linsen mit sphärischen Oberflächen Bezug genommen, die bei Glas-Rohlingen konventionell im Flächen-Schleifverfahren mit anschließendem Polierprozeß erfolgt. Durch Flächenkontakt zwischen einem Polierwerkzeug und dem Werkstück lassen sich daran auch Formfehler beseitigen. Nachteilig ist aber, daß für verschiedene Kugelradien unterschiedliche Werkzeuge vorhanden sein müssen, von deren Zustand außerdem die Genauigkeit der fertigen Linse abhängt.

Ein anderes Herstellungsverfahren für sphärische Linsen bearbeitet die meist schon vorgeformten Glaspreßlinge mit einer Diamant-Topfscheibe durch Kugelschleifen. Der Vorschub erfolgt entweder mit der Werkzeugspindel oder mit der Werkstückspindel, zu der die Diamant-Topfscheibe unter einem definierten Winkel steht. Der Kugelradius an der Linse wird durch diesen Einstellwinkel bestimmt, so daß innerhalb gewisser Grenzen verschiedene Kugelformen mit ein und demselben Werkzeug herstellbar sind. Sein Schleifbelag verändert aber verschleißbedingt während des Schleifprozesses die Gestalt durch Anpassung an die sich ändernden Kugelradien. Wenn mit dem gleichen Topfwerkzeug wechselnde Kugelradien bearbeitet werden sollen, kann daher der zu erzeugende Schleifdurchmesser nicht im voraus festgelegt werden. Bedingt durch unterschiedliche Radien und durch Werkzeugabnutzung entstehen nicht vorhersehbare Eingriffszonen am Werkzeug, die zu ungewollten Makrogestalt-Änderungen an der Werkstück-Oberfläche führen. Solche Bearbeitungsfehler müssen durch nachfolgende Feinschleifprozesse beseitigt werden. Bei kleineren Serien mit häufig wechselnden Kugelradien ist der Anteil der Werkzeugkosten an den Gesamtkosten-Fertigungsaufwand beim Schleifen sehr groß. Darüber hinaus wird häufig in zwei Stufen mit kleiner werdender Diamantkörnung geschliffen, so daß sich insgesamt die Bearbeitungszeit beim Schleifen beträchtlich verlängert.

Optische Linsen mit asphärischen Oberflächen bieten eine Reihe von Vorteilen. So ist die Abbildungsleistung gegenüber sphärischen Linsen deutlich erhöht, Bildfehler werden besser korrigiert, und in optischen Systemen kann durch den Einsatz asphärischer Linsen die Linsenanzahl verringert werden. Diese Vorteile ließen sich bisher nur in sehr geringem Umfang ausnutzen. Der fertigungstechnische Aufwand und die damit verbundenen hohen Stückkosten beschränkten herkömmlich die Verwendung asphärischer, lichtdurchlässiger Bauelemente auf Spezial- und Sonderanwendungen. Einzel- und Kleinserienfertigungen waren bislang aus Kostengründen nicht oder nur bedingt realisierbar.

Beispielsweise beschreibt die DE-PS 24 41 976 einen Saughalter für Linsenrohlinge, die eine asphärische Oberfläche erhalten sollen. Deren in der Mitte eingesenkte Negativkontur ist auf der Oberseite eines steifen Glasblocks ausgebildet. Dieser ist zentrisch durchbohrt und auf einem Tellerfutter eingespannt, das über eine Hohlwelle mit Pumpenanschluß drehbar angetrieben wird. Der angesaugte Rohling kann nach Bearbeitung seiner Oberseite gewendet und auf einem ähnlich geformten zweiten Glasblock an seiner Unterseite bearbeitet werden. Das Verfahren setzt dünne, biegbare

Rohlinge voraus und weist die obengenannten Nachteile auf.

Das Schleifen asphärischer Glaslinsen mit hoher Präzision erfordert einen nachfolgenden Polierprozeß, der wegen der nichtkugelförmigen Gestalt der Linsenoberfläche allerdings nicht einfach im Flächenkontakt erfolgen kann. Vielmehr sind flexible und sehr kleine Polierwerkzeuge notwendig, um eine möglichst genaue Abbildung der Asphäre zu erreichen. Herkömmlich besteht dabei der Nachteil, daß aufgrund des mechanischen Aufbaues und der Nachgiebigkeit des Werkzeugs Bewegungen, die der Asphären-Geometrie exakt entsprechen, nicht ohne weiteres ausgeführt werden können. Die Gestaltabweichung vergrößert sich mit zunehmender Polierzeit und wachsendem Verschleiß.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, unter Überwindung der Nachteile des Standes der Technik die kostengünstige Herstellung asphärischer Linsen wesentlich zu verbessern und zu beschleunigen. Ferner soll eine geringe Dauer der Bearbeitung bei hoher Präzision erreicht werden, ohne daß eine Nachbearbeitung erforderlich würde. Ein wichtiges Ziel besteht darin, Auswirkungen des Werkzeugverschleißes auf die Linsengestalt weitestgehend herabzusetzen.

Hauptmerkmale der Erfindung sind in den unabhängigen Ansprüchen 1 und 9 angegeben. Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 8 sowie 10 bis 16.

Bei einem Verfahren zum Herstellen von asphärischen Oberflächen an Linsenrohlingen, namentlich aus Glas, unter Verwendung einer CNC-Werkzeugmaschine mit einer Steuereinheit und einem rotierend zustellbaren Topfwerkzeug zum Schleifen und/oder Polieren eines Werkstücks in einer Halterung, die entlang einer Vorschubachse in eine Bearbeitungsposition bewegbar ist, wobei die Achsen von Topfwerkzeug und Halterung einen Winkel zueinander einschließen, sieht die Erfindung gemäß dem kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 vor, daß das Topfwerkzeug am Linsenrohling entlang einer über die Steuereinheit vorgegebenen Bearbeitungskontur derart geführt wird, daß zwischen der Längsachse des Topfwerkzeugs und der Tangente in seinem Berührungspunkt am Werkstück ein wählbarer Vorhaltewinkel konstant eingehalten wird. Infolgedessen bleibt das Topfwerkzeug vom Schleifpunkt-Einsatz an während der gesamten Bearbeitung in bezug auf die Bearbeitungsstelle am Werkstück gleich ausgerichtet, so daß sich ändernde Asphären bzw. Kugelradien bei wechselnden Serien konturgetreu bearbeitet werden. Dies geschieht mit durchgehend gleichem Schleifdurchmesser, so daß am Topfwerkzeug der Verschleiß senkrecht zur Berührungsfläche minimiert wird. Außerdem kommt das Topfwerkzeug wegen des Vorhaltewinkels stets nur geneigt zur Anlage am Werkstück, so daß eine Punktberührung sich allenfalls — nach langer Standzeit — zu einer sehr kleinen Segment- oder Bogenfläche hin vergrößert.

Laut Anspruch 2 beträgt der Vorhaltewinkel  $0^\circ$ , und zwar ab Ausgangsstellung bei Beginn der Bearbeitung. Zuvor kann er, um die Schleifbearbeitung zu optimieren, so abgeändert werden, daß ein speziell gewünschter Schleifbereichs-Durchmesser am Topfwerkzeug eingestellt wird und/oder der Materialabtrag in günstigster Weise erfolgt. Das ist insbesondere für die zielgerichtete Asphärenbearbeitung mit dem Topfwerkzeug von großer Bedeutung.

Bei einer Ausgestaltung des Verfahrens mit Linearbewegung des Topfwerkzeugs und der Halterung durch

Vorschubantriebe entlang Achsen sieht Anspruch 3 vor, daß man zum Herstellen von Asphären und Sphären verschiedenster Gestalt unter Interpolationssteuerung zumindest einen Vorschubantrieb in bezug auf einen anderen um eine Querachse verschwenkt, vorzugsweise mittels eines weiteren Antriebs. Es wirken also zwei Linearachsen und eine Rundachse zusammen, um das Topfwerkzeug über das Werkstück zu führen, was gemäß Anspruch 4 vom Rand des Werkstücks zu seiner Mitte und darüber hinweg bevorzugt entlang einer Meridianlinie geschieht. Das läßt sich mit verhältnismäßig geringem Konstruktionsaufwand und überaus präzise steuern.

Speziell für weiche Kontaktlinsen mit sphärischer Rückseite bedient sich zwar ein in EP 0 304 106 A2 dargelegtes Verfahren einer ebenen Steuerfläche, die mit wählbarer Achsversetzung tangential am rotierenden Werkstück anliegt und zusammen mit einem Werkzeug auf einer Kreisbahn um eine gemeinsame Drehachse verschwenkbar ist. Das Ausmaß der Achsversetzung bestimmt die Asphärizität während der Bearbeitung, die im entwässerten Zustand des Linsenrohlings auf einer Drehbank vor sich geht. Es ist jedoch jede Einstellung vorzugeben und während des Schneidvorgangs nicht veränderlich, so daß genaue individuelle Anpassungen nicht möglich sind.

Eine Weiterbildung besteht nach Anspruch 5 darin, daß man die Oberfläche des Linsenrohlings durch Vorbearbeitung auf eine sphärische Gestalt bringt, die der vorgegebenen Bearbeitungskontur weitestgehend angenähert ist. Das erleichtert die nachfolgende Asphärenbearbeitung außerordentlich.

Überaus vorteilhaft ist es, wenn die Bearbeitungsparameter nach Anspruch 6 in einen Mikroprozessor-Rechner eingegeben werden, z. B. über eine Tastatur unter Bildschirm-Kontrolle oder über eine Schnittstelle, worauf in der Steuereinheit die Werkzeugbahn-Daten berechnet werden. Diese Steuerung läßt sich mithin als offenes System einsetzen, um auf der Basis von Derivativ-Software hohen Anforderungen bezüglich Rechenleistung, Speicherkapazität, Bearbeitungsgeschwindigkeit und Prozeßdarstellung gerecht zu werden. Dazu kann man gemäß Anspruch 7 die Bearbeitungskontur anhand der Linsen-Geometrie für das Werkstück in Mikroschritten definieren und die zugehörigen Parameter für die Momentan-Bewegungssteuerung von Topfwerkzeug und Halterung programmieren. Dadurch wird die Bearbeitung weitestgehend automatisiert und zugleich verfeinert, so daß man gröbere Abweichungen ausschließt und die Feinbearbeitung mit größtmöglicher Genauigkeit und Schnelligkeit erzielt.

Außerdem sind Korrekturen möglich, indem laut Anspruch 8 während oder nach der Bearbeitung des Werkstücks Abtastwerte seiner Oberfläche gewonnen und bei Folgebearbeitung durch geänderte Bahnführung des Topfwerkzeugs in der Steuereinheit berücksichtigt werden. Das kann segmentweise geschehen und ermöglicht eine Bearbeitung, die beim anschließenden Polieren eventuell entstehende Verzerrungen ausgleicht.

Gemäß dem unabhängigen Anspruch 9 ist eine Vorrichtung insbesondere zum Durchführen des vorgenannten Verfahrens dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Topfwerkzeug und der Halterung eine Relativschwenkung um eine Querachse ausführbar ist, wobei das Topfwerkzeug von einem ersten Vorschubantrieb und die Halterung von einem zweiten Vorschubantrieb in eine Bearbeitungsposition bewegbar ist. Ein solcher Aufbau ist übersichtlich, sehr genau steuerbar und wirt-

schaftlich, zumal herkömmliche Linearantriebe Verwendung finden können. Bevorzugt ist die Vorrichtung nach Anspruch 10 so ausgebildet, daß das Topfwerkzeug in festem Abstand zu der Querachse angeordnet und mittels eines dritten Vorschubantriebs verschwenkbar ist. Dieser kann laut Anspruch 11 parallel zu der Vorschubrichtung des ersten Antriebs angeordnet sein, was bauliche Vorteile bietet, z. B. eine vereinfachte Rahmen- und Schlittengestaltung.

Wichtig ist die Maßnahme von Anspruch 12, wonach das Topfwerkzeug entlang einer Meridianlinie des Werkstücks von dessen Rand bis über die Mitte hinaus bewegbar ist, was sich mit entsprechender Anordnung der Antriebe erfindungsgemäß einfach und präzise verwirklichen läßt.

Wesentliche Vorteile der Erfindung beruhen darauf, daß man konturgenaue rotationssymmetrische Linsenoberflächen unabhängig von zentraler Vorausplanung und Rechnung mit Topfwerkzeugen herstellen kann, die unterschiedliche Diamantkörnungen besitzen können, aber keine Abrichtvorgänge erfordern, welche die Linsengeometrie beeinflussen würden. Zum Erzeugen sog. Freiform-Oberflächen sieht die Erfindung gemäß Anspruch 13 vor, daß ein zusätzlicher Vorschubantrieb für eine in bezug auf die Werkstückhalterung mittige Achse vorhanden ist, insbesondere in räumlicher Nähe zu dem zweiten Vorschubantrieb, was für die bauliche Anordnung günstig ist. Die Werkstückspindel kann wahlweise kontinuierlich umlaufen, in herkömmlicher Art gegenläufig zum Drehsinn des Topfwerkzeugs, oder sie kann gemäß Anspruch 14 durch Achsumschaltung in eine gesteuerte Rundachse verwandelt werden. Dies ermöglicht mit sehr geringem Aufwand außermittige Flächenbearbeitungen.

Zur Präzision der Bearbeitung ist nach Anspruch 15 jeder Achse ein Meßsystem zugeordnet, so daß Ist- und Soll-Werte verglichen und der Steuereinheit entsprechende Korrekturdaten zugeführt werden können. Die Erfindung sieht laut Anspruch 16 ferner vor, daß die Abtastwerte der bearbeiteten Oberfläche in die Steuereinheit einspeisbar und in einem Mikroprozessor-Rechner durch Vergleich des Oberflächen-Istverlaufs mit der Bearbeitungskontur zur Korrektur der Werkzeugbahn auswertbar sind. Am einfachsten geschieht dies, indem über die Vorgabekontur eine Korrekturdaten-Kurve gelegt und daraus die korrigierte Werkzeugbahn hergeleitet wird.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus dem Wortlaut der Ansprüche sowie aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen. Darin zeigen:

Fig. 1 eine schematische Seitenansicht einer Bearbeitungsgeometrie mit unterschiedlich geneigtem Topfwerkzeug,

Fig. 1a eine vergrößerte Seitenansicht der Werkzeugstellung bei Arbeitsbeginn,

Fig. 1b eine vergrößerte Seitenansicht der Werkzeugstellung bei Arbeitsende,

Fig. 2 eine schematische Seitenansicht eines Topfwerkzeugs bei sphärischer Linsenbearbeitung,

Fig. 3 eine schematisierte Schrägansicht einer CNC-Werkzeugmaschine mit drei Achsen,

Fig. 4 eine schematisierte Schrägansicht einer CNC-Werkzeugmaschine mit vier Achsen,

Fig. 5 ein Flußdiagramm eines Arbeitsablaufs und

Fig. 6 ein Grundschema einer CNC-Werkzeugmaschine.

In den schematisierten Darstellungen der Fig. 1, 1a,

1b, 2 ist ein Werkstück W dargestellt, das in Form eines Linsenrohlings L von einem Topfwerkzeug T mit geneigter Achse A entlang einer Bearbeitungskontur K bearbeitet wird. Ein Umfangsteil U setzt am Rand des Werkstücks W an und berührt es im Punkt P, wobei die Außenachslinie A' einen konstanten Vorhaltewinkel  $\beta$  zur Tangente F einschließt. Das Werkstück W ist vorzugsweise rotierend angetrieben und läuft entgegengesetzt zum Topfwerkzeug T um, das vom Rand des Werkstücks W über dessen Mitte hinaus geführt wird. Dabei bleibt der Vorhaltewinkel  $\beta$ , der auch zwischen der Außenachslinie A' und der Normalen N auf die Tangente F erkennbar ist (Fig. 1), durchgehend gleich. Er kann zu Arbeitsbeginn  $0^\circ$  betragen, bedarfsweise aber auch anders eingestellt werden. Man erkennt, daß im Verlaufe der Bearbeitung der Tangentenwinkel  $\gamma$  zur Oberfläche O immer kleiner wird. Der Berührungspunkt P liegt stets hinter dem Durchstichpunkt der Außenachslinie A', und die Berührungslinie bzw. -ringfläche des Umfangsteils U gewährleistet einen gleichmäßigen und schonenden Materialabtrag. Abhängig vom wirksamen Durchmesser D des Umfangsteils U kann die Neigung des Topfwerkzeugs T und der Vorhaltewinkel  $\beta$  für die jeweilige Schleif- bzw. Polieraufgabe optimal eingestellt werden. Ist eine Vorbearbeitung mit sphärischer Oberfläche O durchzuführen, so wird mit einem Einstellwinkel (Fig. 2) eine gleichbleibende Neigung des Topfwerkzeugs T zur Achse Z der Werkstückspindel S vorgegeben.

Der konstruktive Aufbau ist in Fig. 3 veranschaulicht. Die insgesamt mit 10 bezeichnete CNC-Werkzeugmaschine hat ein Gestell 12 mit einem Tisch 14, auf dem ein Horizontalrahmen 16 angeordnet ist. Darauf ist ein Schlitten 18 mit einem Gehäuse 20 verschieblich angeordnet. Mit dem Gehäuse 20 ist ein Kopf 22 verbunden, der ein Umlenkgetriebe 24 enthält und eine drehbar angetriebene Werkzeugspindel V haltet. An einem Vertikalrahmen 26 ist ein Schlitten 28 mit einem Drehantrieb 30 für eine Rotationsspindel S angeordnet, die eine Halterung H für das Werkstück W trägt.

Der Schlitten 18 ist mittels eines ersten Vorschubantriebs I in Richtung einer Achse X beweglich. Für den Schlitten 28 ist ein zweiter Vorschubantrieb II vorgesehen, der eine Bewegung in Richtung einer Achse Z ermöglicht. Der Kopf 22 ist um eine Querachse B schwenkbar, wozu ein dritter Vorschubantrieb III dient, der parallel zur Achse X angeordnet ist. Man erkennt, daß nur durch Zusammenwirken zweier Linearantriebe in Richtung der Achsen X und Z sowie durch eine Schwenkbewegung um die Querachse B das Topfwerkzeug T mit seinem Umfangsteil U gegenüber dem (in Fig. 3 weggelassenen) Werkstück auf der Halterung H steuerbar ist.

Fig. 4 zeigt eine abgewandelte Ausführungsform, die im allgemeinen Aufbau der CNC-Werkzeugmaschine 10 von Fig. 3 entspricht. Zusätzlich ist jedoch ein weiterer Vorschubantrieb IV vorhanden, der in bezug auf die Achse Z mittig angeordnet ist und nach Umschaltung vom Drehantrieb der Werkstückspindel S deren Steuerung mittels einer zusätzlichen Rundachse C ermöglicht.

Ein allgemeines Flußdiagramm des Arbeitsablaufes ist aus Fig. 5 ersichtlich. Man wählt zunächst die Bearbeitungsart je nachdem, ob eine asphärische oder sphärische Bearbeitungskontur K (Fig. 1) vorgegeben wird. Sodann folgt die Anwahl der Geometrieart, die konvex, konkav oder plan sein kann. Die zugehörigen Geometrie-Parameter wie Krümmungsradius, Außendurchmesser, Mittendicke der Linse usw. und die Werkzeug-

bzw. Bearbeitungs-Parameter wie wirksamer Durchmesser des Umfangsteils U, sein Lippenradius, Vorhaltewinkel  $\beta$ , Vorschubgeschwindigkeit und Drehzahl des Topfwerkzeugs werden anschließend eingegeben. Darauf wird in der Steuereinheit die Werkzeugbahn berechnet, worauf die Bearbeitung der Linse entlang der Bearbeitungskontur K erfolgt. Im Anschluß an diesen Arbeitsgang des Schleifens und/oder Polierens wird die Oberfläche O abgetastet, was zur Gewinnung von Korrekturdaten benutzt wird, die zu einer Berichtigung der Werkzeugbahn für eine Folgebearbeitung benutzt werden können.

Die Grundstruktur einer geeigneten Vorrichtung ist in Fig. 6 schematisch dargestellt. Die CNC-Werkzeugmaschine 10 hat eine Bedientafel 40, vorzugsweise mit Bildschirm, sowie einen Eingabe-/Ausgabeteil 50, der als Tastatur ausgebildet sein kann. Beide Einheiten stehen mit einem Mikroprozessor-Rechner R in Verbindung, dem Meßsysteme M1 bis M4 zugeordnet sind. Letztere sind mit einer Steuereinheit E verbunden, welche die Vorschubantriebe I bis III direkt beeinflusst. Ein Umschalt-Einrichtung oder Weiche 60 dient dazu, wahlweise nur den Drehantrieb 30 für die Werkstückspindel S oder den vierten Vorschubantrieb IV für die Achse C zu steuern.

Zweckmäßig ist die Maschine 10 modular aufgebaut und mit (nicht gezeichneten) hochdynamischen Servomotoren ausgestattet. Nicht dargestellte Interpolatoren sorgen dafür, daß die Werkzeugführung nach Vorgabe der Bearbeitungskontur K in feinsten Schritten — d. h. quasikontinuierlich — gesteuert werden kann und so die Herstellung gebrauchsfähiger Asphären-Oberflächen gewährleistet. Dabei können Ausgleichsbewegungen ebenso berücksichtigt werden wie eventuelle Poliermaßstäbe, die bei extrem asphärischer Kontur vorgesehen werden können, um einen nichtlinearen Materialabtrag zu kompensieren.

Man erkennt, daß nach dem erfindungsgemäßen Verfahren und mit der erfindungsgemäßen CNC-Werkzeugmaschine die universelle Linsenbearbeitung mit asphärischen, aber auch sphärischen Oberflächen vorteilhaft durchführbar ist. Die Anordnung eignet sich insbesondere auch für die Kleinserien- oder Einzelfertigung.

Die zusätzliche C-Achse für die Werkstückspindel S gestattet außerdem eine Freiform-Oberflächenbearbeitung nach grundsätzlich gleichem Verfahren. Auch hier ist ein Servoantrieb und ein Rotationsmeßsystem für die gesteuerte Rundachse vorgesehen, so daß nach Achsumschaltung bedarfsweise außermittige Flächenbearbeitungen ausgeführt werden können. Sind diese nicht erforderlich, so geht die Weiche 60 auf reinen Drehantrieb 30 für die Werkstückspindel S über.

Die Erfindung ist nicht auf die dargestellten Ausführungsbeispiele beschränkt; vielmehr sind zahlreiche Abwandlungen möglich. Man erkennt jedoch, daß bei einem Verfahren zum Herstellen von asphärischen Oberflächen an Linsenrohlingen L namentlich aus Glas erfindungsgemäß bevorzugt eine CNC-Werkzeugmaschine mit einem rotierend zustellbaren Topfwerkzeug T zum Schleifen und/oder Polieren eines Werkstücks W in einer Halterung H benutzt wird. Das Topfwerkzeug T wird entlang einer über eine Steuereinheit E vorgegebenen Bearbeitungskontur K derart geführt, daß zwischen der Längsachse A des Topfwerkzeugs T und der Tangente F in seinem Berührungspunkt P am Werkstück W ein wählbarer Vorhaltewinkel  $\beta$  von z. B.  $0^\circ$  konstant eingehalten wird. Zumindest ein Vorschubantrieb (z. B.

I) wird in bezug auf einen anderen (z. B. II) um eine Querachse B verschwenkt, vorzugsweise unter Interpolationssteuerung eines weiteren Antriebs III, um das Topfwerkzeug T vom Rand des Werkstücks W zu seiner Mitte und darüber hinweg entlang einer Meridianlinie zu führen. Ein zusätzlicher Vorschubantrieb w ermöglicht die Steuerung der Werkstückhalterung H um eine mittige Achse C. Jeder Achse X, Z, B, C ist ein Meßsystem M1, M2, M3, M4 zugeordnet, deren Meßwerte sowie Abtastwerte der bearbeiteten Oberfläche in die Steuereinheit E einspeisbar und in einem Mikroprozessor-Rechner R durch Vergleich des Oberflächen-Istverlaufs mit der Bearbeitungskontur K zur Nachberechnung der Werkzeugbahn auswertbar sind. Die Oberfläche des Linsenrohlings L ist auf eine sphärische Gestalt vorbearbeitbar, die der vorgegebenen Bearbeitungskontur K weitestgehend angenähert ist.

Sämtliche aus den Ansprüchen, der Beschreibung und der Zeichnung hervorgehenden Merkmale und Vorteile, einschließlich konstruktiver Einzelheiten, räumlicher Anordnungen und Verfahrensschritten, können sowohl für sich als auch in den verschiedensten Kombinationen erfindungswesentlich sein.

#### Bezugszeichenliste

$\alpha$ Einstellwinkel	
$\beta$ Vorhaltewinkel	
$\gamma$ Tangentenwinkel	
A Achse (von T)	
A' Außenachslinie	
B Querachse	
C mittige Achse	
D Durchmesser (von U) E Steuereinheit	
F Tangente	
H Halterung	
K Bearbeitungskontur	
L Linsenrohling	
M1, M2, M3, M4 Meßsysteme	
N Normale (zu F)	
O Oberfläche (von W)	
P Berührungspunkt (T auf W)	
R Mikroprozessor-Rechner	
S (Rotations-)Spindel	
T Topfwerkzeug	
U Umfangsteil	
V Werkzeugspindel	
W Werkstück	
X Achse	
Z Achse	
I, II, III, IV Vorschubantriebe	
10 CNC-Werkzeugmaschine	
12 Gestell	
14 Tisch	
16 Horizontalrahmen	
18 Schlitten	
20 Gehäuse	
22 Kopf	
24 Umlenkgetriebe	
26 Vertikalrahmen	
28 Schlitten	
30 Drehantrieb (für H/W)	
40 Bedientafel	
50 Eingabe-/Ausgabe-Einheit	
60 Umschalt-Einrichtung/Weiche	

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen von asphärischen Oberflächen an Linsenrohlingen (L), namentlich aus Glas, unter Verwendung einer CNC-Werkzeugmaschine mit einer Steuereinheit (E) und einem rotierend zustellbaren Topfwerkzeug (T) zum Schleifen und/oder Polieren eines Werkstücks (W) in einer Halterung (H), die entlang einer Vorschubachse (Z) in eine Bearbeitungsposition bewegbar ist, wobei die Achsen (A bzw. Z) von Topfwerkzeug (T) und Halterung (H) einen Winkel zueinander einschließen, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Topfwerkzeug (T) am Linsenrohling (L) entlang einer über die Steuereinheit (E) vorgegebenen Bearbeitungskontur (K) derart geführt wird, daß zwischen der Längsachse (A) des Topfwerkzeugs (T) und der Tangente (F) in seinem Berührungspunkt (P) am Werkstück (W) ein wählbarer Vorhaltewinkel ( $\beta$ ) konstant eingehalten wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Vorhaltewinkel ( $\beta$ )  $0^\circ$  beträgt.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Topfwerkzeug (T) und die Halterung (H) durch Vorschubantriebe (I, II) entlang Achsen (X, Z) linearbewegbar sind, dadurch gekennzeichnet, daß man zum Herstellen von Asphären und Sphären verschiedenster Gestalt unter Interpolationssteuerung zumindest einen Vorschubantrieb (z. B. I) in bezug auf einen anderen (z. B. II) um eine Querachse (B) verschwenkt, vorzugsweise mittels eines weiteren Antriebs (III).

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Topfwerkzeug (T) vom Rand des Werkstücks (W) zu seiner Mitte und darüber hinweg geführt wird, insbesondere entlang einer Meridianlinie.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß man die Oberfläche des Linsenrohlings (L) durch Vorbearbeitung auf eine sphärische Gestalt bringt, die der vorgegebenen Bearbeitungskontur (K) weitestgehend angenähert ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitungsparameter (K) in einen Mikroprozessor-Rechner (R) eingegeben werden, z. B. über eine Tastatur unter Bildschirm-Kontrolle oder über eine Schnittstelle, worauf in der Steuereinheit (E) die Werkzeugbahn-Daten berechnet werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Bearbeitungskontur (K) anhand der Linsen-Geometrie für das Werkstück (W) in Mikroschritten definiert wird und daß die zugehörigen Parameter für die Momentan-Bewegungssteuerung von Topfwerkzeug (T) und Halterung (H) programmiert werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß während oder nach der Bearbeitung des Werkstücks (W) Abtastwerte seiner Oberfläche gewonnen und bei Folgebearbeitung durch geänderte Bahnführung des Topfwerkzeugs (T) in der Steuereinheit (E) berücksichtigt werden.

9. Vorrichtung zum Herstellen von asphärischen Oberflächen an Linsenrohlingen (L) mittels einer CNC-Werkzeugmaschine mit einer Steuereinheit (E), mit einem durch einen ersten Vorschubantrieb

(I) lageveränderlichen, rotierend angetriebenen Topfwerkzeug (T) und mit einer Werkstückhalterung (H), die mit einem zweiten Vorschubantrieb (II) in eine Bearbeitungsposition bewegbar ist, wobei die Achsen (A bzw. Z) von Werkzeug (T) und Halterung (H) in einem Winkel zueinander stehen, insbesondere zum Durchführen des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen dem Topfwerkzeug (T) und der Halterung (H) eine Relativschwenkung um eine Querachse (B) ausführbar ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Topfwerkzeug (T) in festem Abstand zu der Querachse (B) angeordnet und mittels eines dritten Vorschubantriebs (III) verschwenkbar ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 9 und 10, dadurch gekennzeichnet, daß der dritte Vorschubantrieb (III) parallel zu der Vorschubrichtung des ersten Antriebs (I) angeordnet ist.

12. Vorrichtung nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß das Topfwerkzeug (T) entlang einer Meridianlinie des Werkstücks (W) von dessen Rand bis über die Mitte hinaus bewegbar ist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß ein zusätzlicher Vorschubantrieb (IV) für eine in bezug auf die Werkstückhalterung (H) mittige Achse (C) vorhanden ist, insbesondere in räumlicher Nähe zu dem zweiten Vorschubantrieb (II).

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß eine Umschalt-Einrichtung (60) zum Übergang des Halterungs-Betriebs von reiner Drehbewegung auf gesteuerten Rundachsen-Betrieb und umgekehrt vorhanden ist.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Achse (X, Z, B, C) ein Meßsystem (M1, M2, M3, M4) zugeordnet ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßwerte der Meßsysteme (M1, M2, M3, M4) sowie Abtastwerte der bearbeiteten Oberfläche in die Steuereinheit (E) einspeisbar und in einem Mikroprozessor-Rechner (R) durch Vergleich des Oberflächen-Istverlaufs mit der Bearbeitungskontur (K) zur Korrektur der Werkzeugbahn auswertbar sind.

Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65



Fig. 3

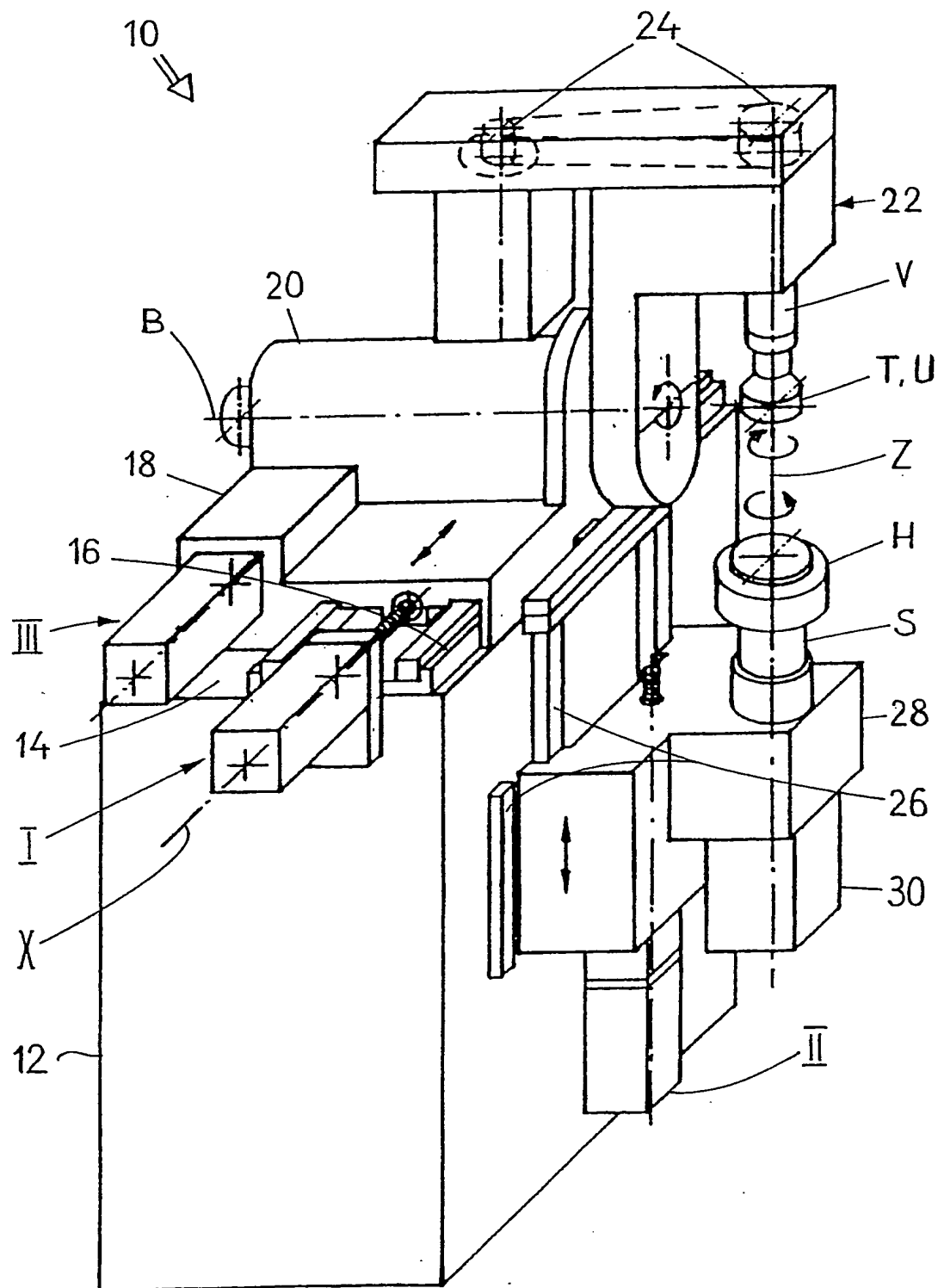


Fig. 1

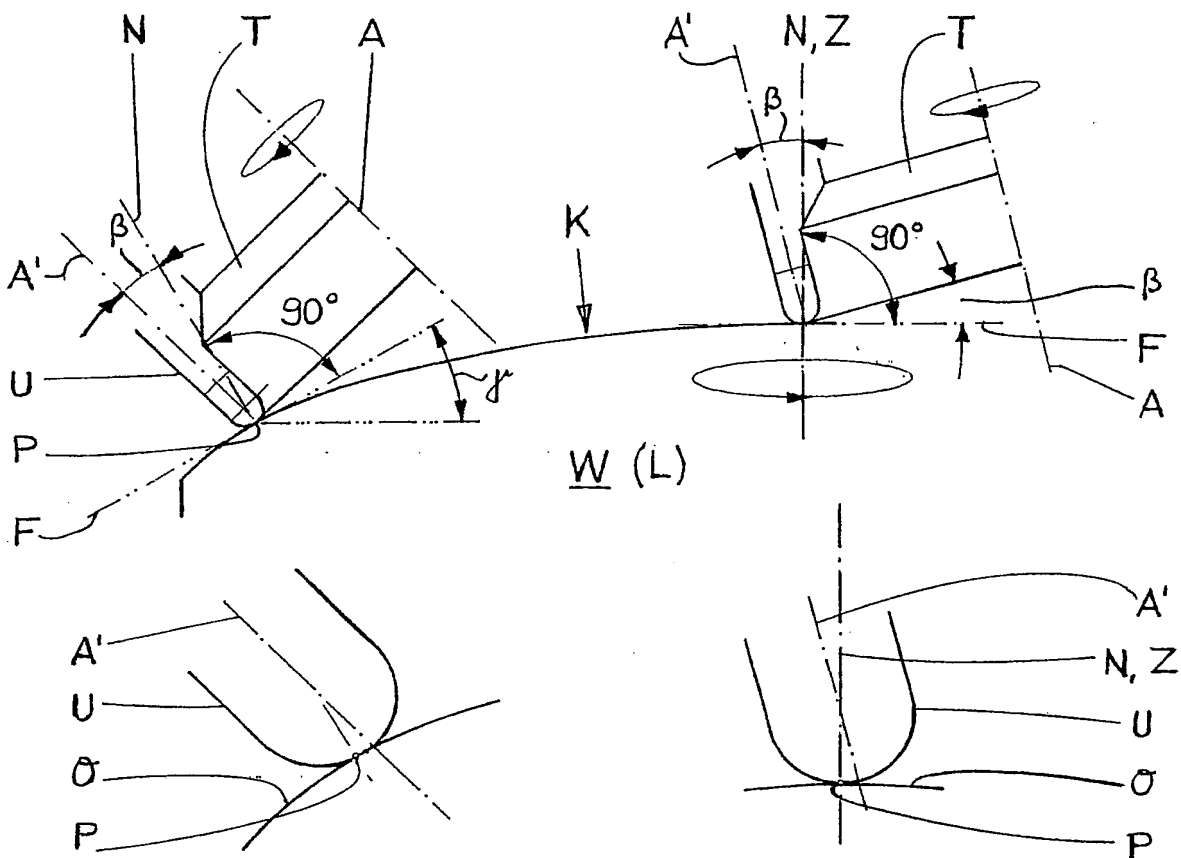


Fig. 1a

Fig. 1b



Fig. 2

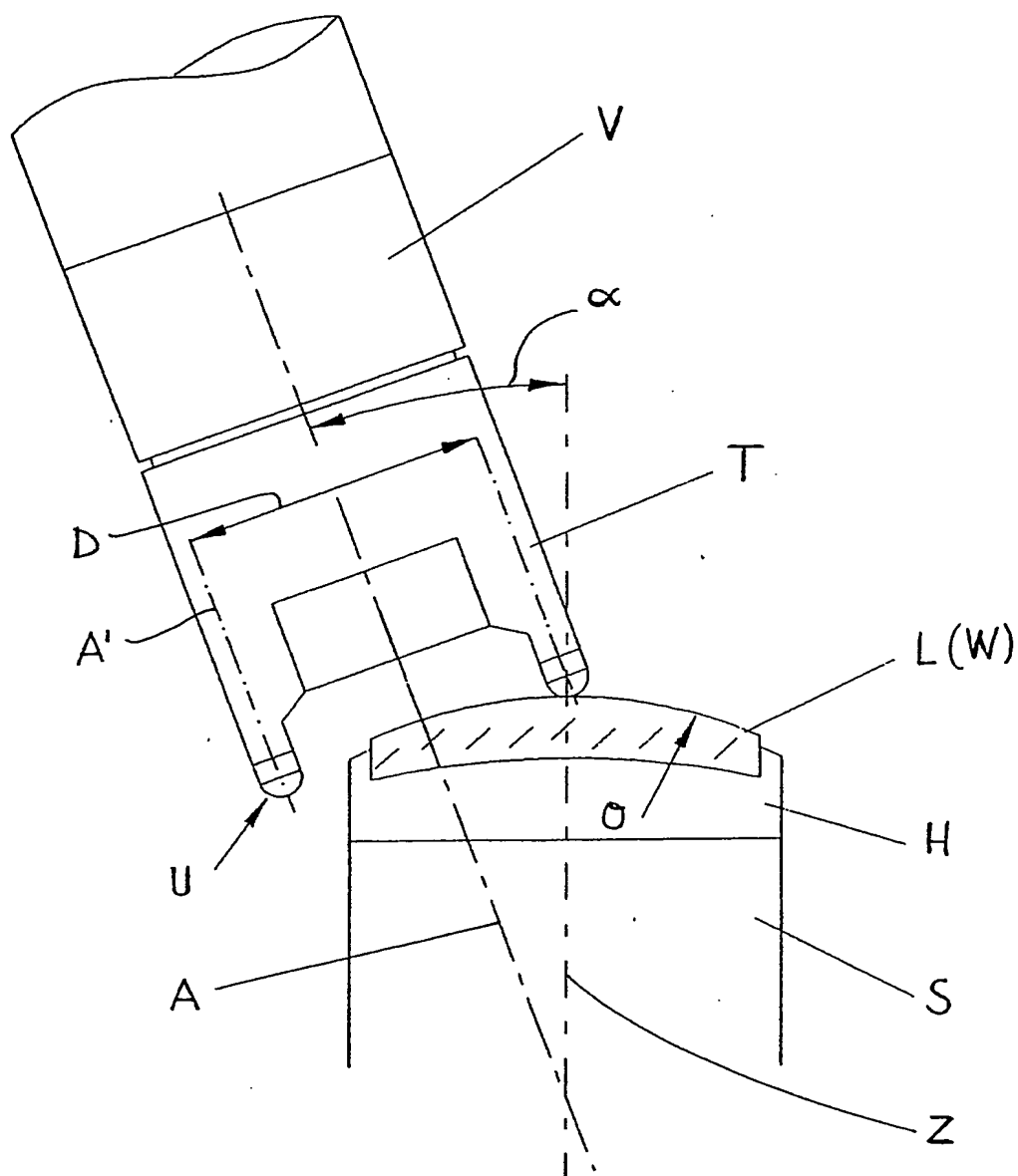


Fig. 4

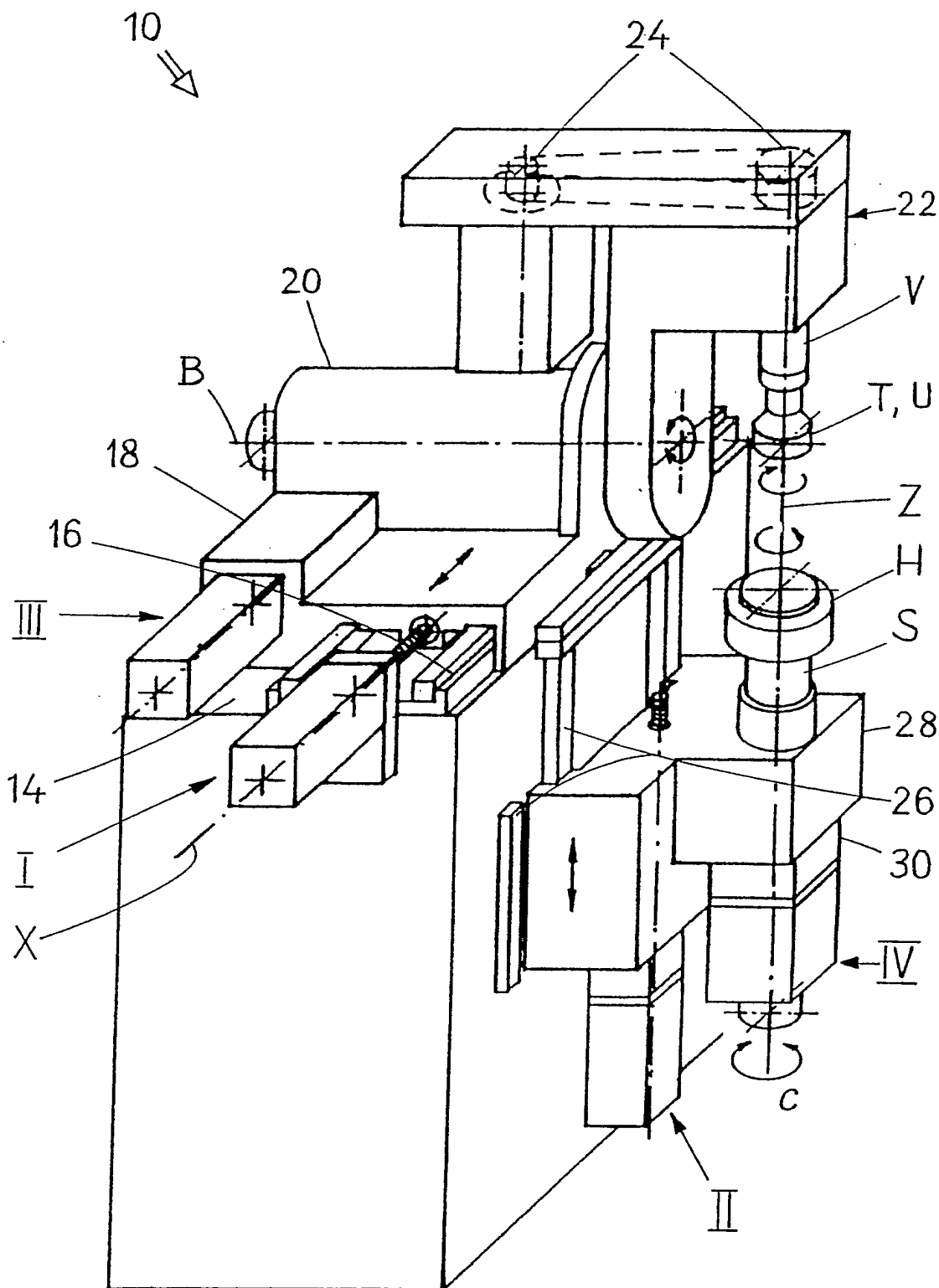


Fig. 5

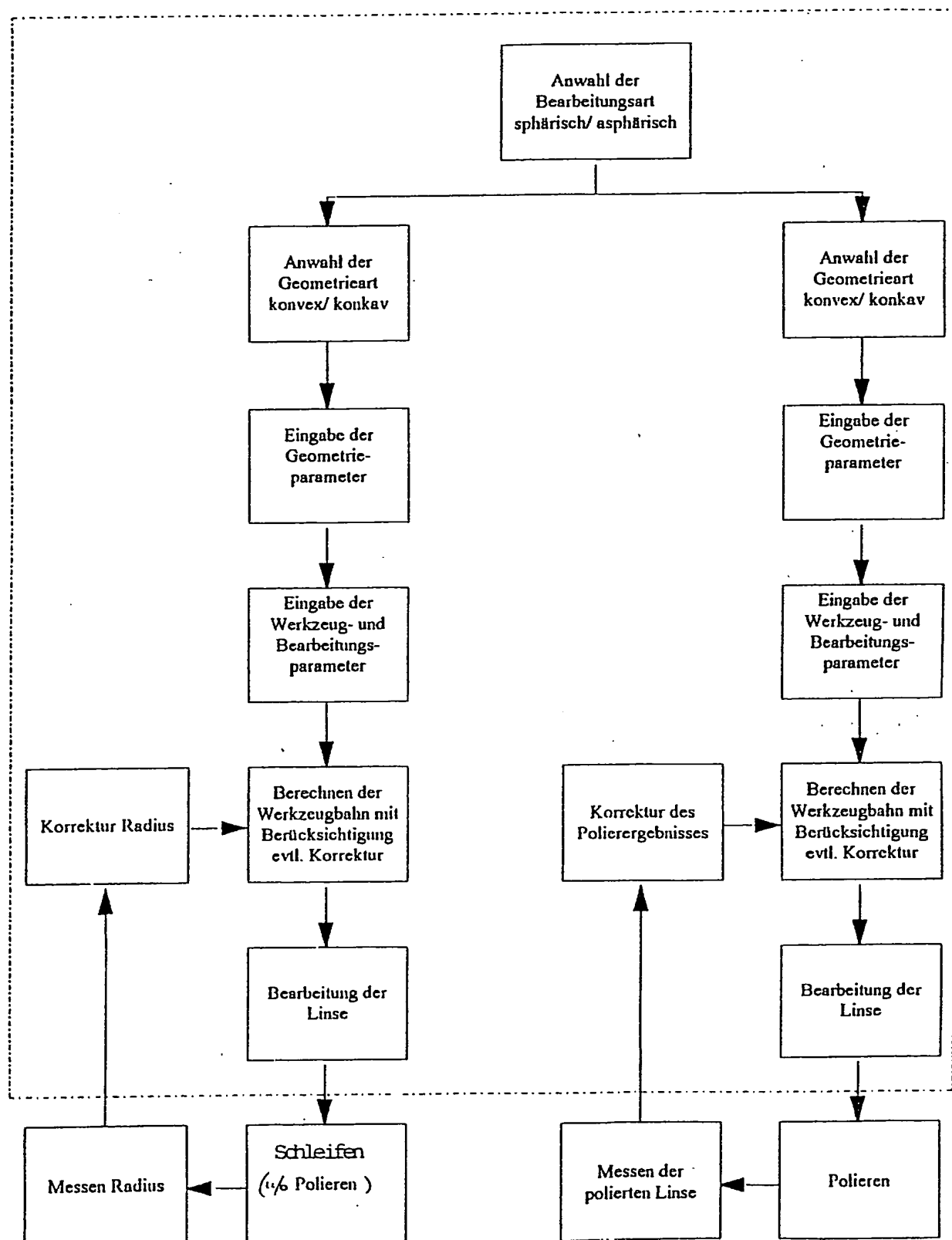


Fig. 6

10

